

# 泰安污水处理厂消化池测试研究

张玉敏 张 然 姚 旭

**摘 要** 本文通过对泰安污水处理厂消化池进行测试研究,证明在消化池中应用 BUPC 无粘结预应力技术可使其更加安全可靠。

**关键词** 无粘结 预应力 消化池

1991年7月,中国市政工程华北设计院、泰安污水处理厂筹建处和北京市建筑工程研究院三家单位共同合作,在泰安污水处理厂两个完全相同的消化池建设中采用 BUPC 无粘结预应力技术,池壁内水平环向配置无粘结预应力筋,锚固系统为三孔群锚,通过预压应力来抵抗池壁的环向拉应力,提高其抗裂性和强度,从而减薄壁厚,节省钢筋和混凝土用量,提高水池的使用性,这在国内相同结构形式的消化池建设中尚属首次。无粘结预应力技术与绕丝预应力技术相比较,节省了昂贵的绕丝设备开支,便于施工,具有很大的推广价值。同时,在施工中第一次采用群锚并逐根张拉的 BUPC 新工艺,因而受到各方面的重视。北京市建筑工程研究院对其中一个消化池进行了测试研究。

## 一、工程概况

泰安污水处理厂的两个消化池均为内径 18m,壁厚 30cm,壁高 12.5m 的圆筒形构筑物,其中有 5.5m 位于地面以下。在消化池池壁四周均设置有四个扶壁,环向同一平面内,无粘结预应力钢绞线分两个集团束在两个相对扶壁的两侧各按 180°角相交于这两个扶壁并从扶壁侧面伸出,沿池壁高度相邻两平面内的预应力筋其两集团束相交并伸出扶壁的位置相差 90°。这两个消化池均采用 C30 混凝土,预应力和非预应力配筋以及水池平、剖面布置也完全一样,扶壁部分见图 1。每个消化池的结构施工均分四段完成,即池底板混凝土浇筑→池壁混凝土浇筑→池壁圈梁和锥壳形

顶盖混凝土浇筑→张拉池壁预应力钢筋。

## 二、测试目的及方法

### (一)测试目的

掌握不同工况下该池池壁中非预应力钢筋的受力大小,以了解池壁内力在不同工况下的实际分布,观察池壁的抗开裂情况,从而证明在消化池中采用 BUPC 无粘结预应力技术的可靠性,以便推广。

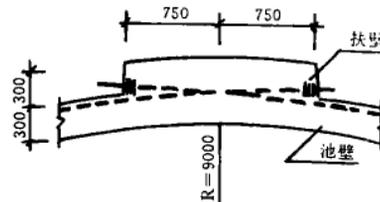


图 1



图 2

### (二)测试手段及测试仪器

采用钢弦式钢筋应力计来测试池壁内不同测点在不同工况下非预应力钢筋的受力大小以达到测试目的。钢弦式钢筋应力计的外形见图 2。

### (三)测点位置及仪器布置

#### 1. 测点位置

平面位置为第一个消化池的西北角,与东西轴线呈 45°角。剖面位置见图 3。

## 2. 仪器布置

按测点位置布置钢弦式钢筋应力计,布置时应力计应绑在测点位置断开的非预应力筋上,以使其牢固,应力计工作段两侧的锚固长度应满足有关规范的要求,取45d,应力计的直径与测试点处非预应力钢筋与非预应力筋的直径相同。

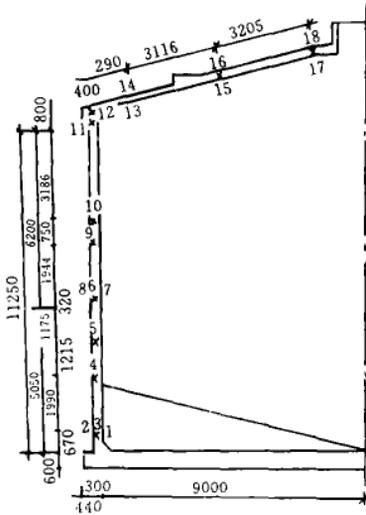


图 3

### (四) 测试内容与工况

1. 测试内容 ①预应力筋张拉前混凝土池壁内非预应力钢筋受力;②张拉预应力筋过程中池壁内非预应力钢筋受力;③试水、试气过程中池壁内非预应力钢筋受力。

2. 测试工况 为了测到上述内容,测试开始前,根据该工程的施工安排,合理选择了测试工况:①布置仪器后浇筑混凝土前;②浇筑混凝土后张拉预应力筋前;③张拉预应力筋的过程;④试水、试气的过程。

## 三、测试结果与分析

(一) 预应力筋张拉前水池内非预应力钢筋受力的实测大小与分析

池壁浇筑混凝土后,在强度增加过程中,由于自身的硬化,池壁产生干缩,干缩是该阶段使池壁环向和竖向产生内力的主要因素。池壁强度超过70%的设计强度后,进行顶部圈梁和锥形顶盖的混凝土浇筑和养护,由于圈梁和顶盖的干缩受到池壁的限制,使圈梁和顶盖产生内力,同时对池壁内力也有影响。

1. 非预应力钢筋受力的实测值见表1。

## 2. 分析

①池壁中非预应力钢筋的内力 该工程池壁与顶盖的混凝土浇筑施工是分两个阶段进行的,浇筑池壁圈梁及顶盖时,池壁混凝土的强度已超过设计强度的70%,池壁混凝土的干缩已基本完成,由混凝土干缩产生的池壁内力主要是在浇筑池壁圈梁及顶盖前产生。

②池壁环向内力 在池壁下部,由于混凝土的环向干缩受到水池底板的约束,因而在池壁竖向截面内混凝土产生环向拉力和环向拉应变,这种拉应变受到池壁内环向非预应力钢筋的限制而有所减小,环向非应力钢筋则产生拉力。底板的约束沿池壁高度逐渐减弱,同样混凝土和钢筋的环向拉力也逐渐减小,在池壁顶部接近圈梁处这种约束已经很小,不再能限制混凝土的干缩,在池壁混凝土干缩下,其竖向截面内混凝土受拉,环向非预应力钢筋受压,而以后浇筑的池壁圈梁及顶盖混凝土的干缩,又使其下部池壁环向非预应力钢筋的压力有所增加,竖向截面内混凝土的拉力有所减小,实测水池环向非预应力钢筋受力沿池壁高度分布见图4。

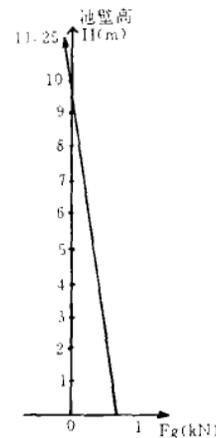


图 4

③池壁竖向内力 池壁竖向内力主要是由其自重和混凝土竖向干缩引起的,池壁的环向干缩以及后浇筑的池壁圈梁和顶盖混凝土的干缩对池壁竖向内力也有影响。一方面由于自重和竖向干缩,池壁混凝土和竖向非预应力钢筋均受压,两侧竖向非预应力筋的压力是相等的,另一方面,对于先后浇筑的混凝土池壁和圈梁,其环向干缩引起的水池径缩在池壁上产生了使外侧竖向非预应力筋受拉、内侧竖向筋受压的竖向弯矩,而此阶段竖

向非预应力钢筋的内力正是以上两种情况的叠加。

④池壁圈梁及顶盖内力 浇筑池壁圈梁及顶盖后,圈梁及顶盖混凝土的干缩在对池壁内力施加影响的同时,自身也由于混凝土的干缩受到池壁和配置的非预应力钢筋的限制而受力。对于圈梁,混凝土及环向非预应力钢筋均受拉;对于顶盖,混凝土及非预应力钢筋的径、环向也均受拉。

(二)张拉预应力筋过程中水池内非预应力钢筋受力的实测大小与分析

### 1. 非预应力钢筋受力的实测值

进行测试的消化池是在1992年6月8日至13日张拉预应力筋的,单根预应力筋张拉力设计要求150kN,实际154.5kN,超张拉3%。张拉由上至下进行,过程中进行了4次测试,结果见表2。

将表2每次测试中各测点数值减去表1中相应测点的数值,得到张拉预应力筋过程中,由于张拉,水池内非预应力钢筋在预应力第一批损失后建立起的预压力,见表3。

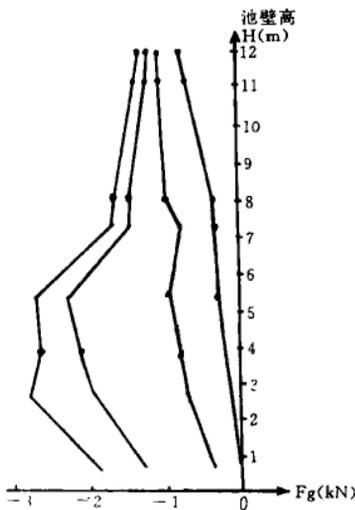


图5

### 2. 分析

4次测试使预应力筋张拉分为4次完成,各次测得的池壁和圈梁内环向非预应力钢筋由于张拉预应力筋建立起的预压力分布见图5。

由表2、表3和图4可见:

①张拉后,预应力筋通过锚固系统传给池壁

和圈梁的环向预压力具有扩散性,且压力越大,扩散的范围和数值就越大,某一位置环向非预应力钢筋在预应力第一批损失后产生的预压力是所有预应力筋张拉后在该位置产生的预压力之和。

②预应力筋张拉结束后,池壁和圈梁内环向非预应力钢筋沿高度建立起的预压力分布呈曲线形式,不同高度数值不等,这与预应力筋配筋量和底板的约束有关。

在池壁中段高2m~6.33m范围,预应力筋配筋量最大,而底板约束又比2m以下要小得多,因而这段池壁建立的环向预压力最大。

在池壁高2m以下,虽然预应力筋配筋量与池壁中段相同,但由于底板约束很大,预压力在此段迅速减小。在池壁高6.33m以上包括圈梁,预应力筋每米配筋量减少约40%,虽然底板约束已经很小,但建立起的预压力也明显小于池壁中段。

③池壁和圈梁在预压力下的变形使它们均产生径缩,但预压力的不同,刚度的不同,使它们产生径缩的大小也不一样,圈梁的水平刚度较池壁大得多,预压力又相对较小,因而水池在圈梁处的径缩很小,圈梁和底板在池壁两端对池壁的径缩起到约束作用,相当于两个支座,这使得在张拉预应力筋过程中,由于径缩池壁产生的竖向弯矩在池壁两端与池壁中部符号相反,本测试测得在池壁下端第1、2测点处,外侧非预应力钢筋受拉,内侧非预应力钢筋受压;而在第7、8测点处,外侧非预应力钢筋受压,内侧非预应力钢筋受拉。

④张拉预应力筋使水池顶盖径向产生压力,而对顶盖环向内力影响不大。

(三)预应力发生第二批损失后水池内非预应力钢筋受力的实测大小与分析

### 1. 非预应力钢筋受力的实测值

1993年4月16日试水、试气前,对张拉后已10个月的水池进行了测试,测试结果见表4。

### 2. 分析

①预应力筋张拉后10个月,预应力第二批损失的绝大部分已完成,池壁和圈梁内环向非预应力钢筋的有效预压力减小,沿池壁高的实际分布见图6。

②张拉预应力筋时产生的竖向弯矩在池壁底部和中部均有所减小,从两侧竖向非预应力钢筋的测试结果看,相对于张拉时,在池壁下端第1、2测

点处外侧非预应力钢筋的拉力和内侧非预应力钢筋的压力均减小;在第7、8测点处,外侧非预应力钢筋的压力和内侧非预应力钢筋的拉力也均减小。

③池壁内有效压力的降低使顶盖径向非预应力钢筋压力减小,而对顶盖环向非预应力筋影响不大。

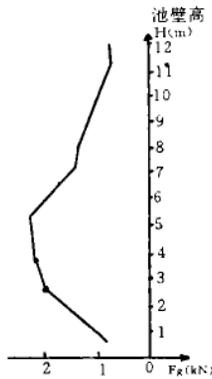


图 6

(四)试水、试气过程中水池内非预应力钢筋受力的实测大小与分析

#### 1. 非预应力钢筋受力的实测值

1993年4月17日至22日对消化池进行了试水、试气,其间对该池非预应力钢筋的测试结果见表5。

将表5每次测试中各测点数值减去表4中相应各测点的数值,得到由于试水、试气水池内非预应力钢筋产生的内力,见表6。

#### 2. 分析

①试水、试气中测得的池壁环向非预应力钢筋最大拉力在测点4处为1.27kN,  $\sigma_s = 82.83 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_h = 12.43 \text{ kg/cm}^2$ 。②池壁竖向筋受力不论压力还是拉力较试水前都略微减小。③试水时,水池顶盖径向非预应力钢筋的压力略有减小,环向非

预应力钢筋拉力无变化。试气后气压作用于水池顶盖,径、环向应力均变成拉力。

#### 四、小结

(一)通过对该池壁中非预应力钢筋在不同工况下受力的测试,了解其内力的分布,观察池壁的开裂,证明在消化池中应用BUPC无粘结预应力技术是安全可靠的。

(二)池壁浇筑混凝土后,在强度增长过程中,由于自身的硬化,池壁产生干缩,干缩是使池壁环向和竖向产生内力的主要因素。此外,池壁强度超过70%的设计强度后,进行顶部圈梁和锥形顶盖混凝土浇筑和养护,由于圈梁和顶盖的干缩受到池壁的限制,使圈梁和顶盖产生内力,对池壁内力也有影响。

(三)张拉预应力筋后,池壁、圈梁内环向非预应力筋建立的预压力具有扩散性,其扩散范围及数值随压力增加而增大,并沿高度建立的预压力分布呈曲线,这种预压力与预应力筋的配筋量、底板约束有关,随配筋量的增加而增大,随约束增大而减小。

池壁和圈梁在预压力影响下产生径向变形,变形随预压力增大而增加,随构件的刚度增大而减小,但对顶盖环向内力影响不大;圈梁和底板对池壁径向变形有约束,使得池壁产生竖向弯矩。

(四)试水、试气前,第二批预应力损失后,张拉时池壁、圈梁内环向非预应力筋的有效预压力、池壁竖向弯矩、顶盖径向非预应力钢筋压力均有所减小。

(五)试水、试气过程中,池壁环向非预应力钢筋最大拉力与设计计算值近似。约在距底板上2.70m左右处,池壁竖向筋内力、试水时的顶盖径向压力均有减小,试气后由于氧化作用使顶盖径、环向应力由压变拉。

单位:kN 表1

	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	13	15	17	14	16	18
预应力筋 张拉前	0.65	0.525	0.31	0.16	0.085	0.027	0.47	0.42	-0.84	-0.72	-0.53	-0.41	0.42	0.34	0.28	0.38	0.372	0.392

单位:kN 表 2

	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	3	4	5	6	9	10
圈梁 张拉完毕	0.613	0.384	0.097	-0.11	-0.22	-0.298	-0.21	-0.34	-1.17	-0.399	-0.083	-0.832	0.41	0.335	0.277	0.16	0.153	0.161
梁下15束 张拉完毕	0.29	-0.178	-0.438	-0.785	-0.675	-0.928	-0.59	-0.655	-1.665	0.089	0.283	-1.213	0.39	0.341	0.26	0.028	0.023	0.022
梁下9束 张拉完毕	-0.635	-1.442	-1.818	-2.189	-1.365	-1.438	-0.78	-0.8	-2.325	-0.758	0.989	-1.931	0.43	0.35	0.31	-0.038	-0.042	-0.048
全部 张拉完毕	-1.2	-2.285	-2.35	-2.54	-1.62	-1.636	-0.905	-0.91	-2.49	0.911	1.203	-2.147	0.427	0.347	0.267	-0.061	-0.064	-0.072

单位:kN 表 3

	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	3	4	5	6	9	10
圈梁 张拉完毕	-0.037	-0.141	-0.213	-0.27	-0.305	-0.325	-0.68	-0.76	-0.33	0.321	0.447	-0.422	-0.01	-0.005	-0.003	-0.22	-0.219	-0.233
梁下15束 张拉完毕	-0.36	-0.703	-0.748	-0.945	-0.76	-0.955	-1.06	-1.075	-0.825	0.809	0.813	-0.803	-0.03	0.001	-0.02	-0.352	-0.349	-0.37
梁下9束 张拉完毕	-1.285	-1.967	-2.128	-2.349	-1.45	-1.465	-1.25	-1.22	-1.485	-1.478	-1.519	-1.521	0.01	0.01	0.013	-0.418	-0.412	-0.44
全部 张拉完毕	-1.85	-2.81	-2.66	-2.7	-1.705	-1.663	-1.375	-1.33	-1.65	-1.631	1.733	-1.737	0.007	0.007	-0.013	-0.441	-0.436	-0.464

单位:kN 表 4

1993年 4月16日	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	13	15	17	14	16	18
	-0.93	-1.995	-2.13	-2.22	-1.39	-1.326	-0.72	-0.77	-2.21	0.641	0.992	-1.922	0.39	0.388	0.279	-0.029	-0.031	-0.034

单位:kN 表 5

	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	13	15	17	14	16	18
试水 (1/3)·H	-0.568	-1.685	-1.85	-1.93	-1.23	-1.196	-0.608	-0.667	-2.167	0.626	0.968	-1.916	0.388	0.39	0.275	-0.028	-0.031	-0.034
试水 (2/3)·H	-0.144	-0.66	-0.91	-1.17	-0.43	-0.456	-0.34	-0.35	-2.146	0.602	0.946	-1.911	0.392	0.382	0.277	-0.025	-0.03	-0.033
试水 H	-0.789	0.295	-0.02	-0.45	-0.08	-0.226	0.2	0.19	-2.111	0.576	0.891	-1.903	0.391	0.379	0.28	-0.024	-0.028	-0.032
试气压力 400高水柱	0.48	0.885	0.39	-0.07	0.23	0.004	0.44	0.44	-2.081	0.531	0.834	-1.896	0.496	0.523	0.368	0.011	0.015	0.017
试气压力 900高水柱	0.7	1.275	0.93	0.31	0.531	0.244	0.62	0.6	-2.035	0.483	0.788	-1.818	0.58	0.674	0.482	0.032	0.037	0.041

单位:kN 表 6

	池壁环向						圈梁		池壁竖向				顶盖环向			顶盖径向		
	3	4	5	6	9	10	11	12	1	2	7	8	13	15	17	14	16	18
试水 (1/3)·H	0.365	0.31	0.28	0.29	0.16	0.13	0.112	0.103	0.043	-0.015	-0.024	0.006	-0.008	0.002	-0.004	0.001	0	0
试水 (2/3)·H	0.786	1.335	1.22	1.05	0.96	0.87	0.38	0.42	0.064	-0.039	-0.046	0.011	0.002	-0.006	-0.002	0.004	0.001	0.001
试水 H	1.141	2.29	2.11	1.77	1.31	1.1	0.92	0.96	0.099	-0.065	-0.101	0.019	-0.005	-0.009	0.001	0.005	0.003	0.002
试气压力 400高水柱	1.41	2.88	2.52	2.15	1.62	1.33	1.16	1.21	0.129	-0.11	-0.158	0.026	0.106	0.135	0.089	0.04	0.046	0.051
试气压力 900高水柱	1.63	3.27	3.06	2.53	1.921	1.57	1.34	1.37	0.175	-0.158	-0.204	0.104	0.19	0.286	0.203	0.061	0.068	0.075